

Patent number: JP 4823
Publication date: 1999-01-12
Inventor: MICHAEL D SILVER
Applicant: TOSHIBA CORP
Classification:
- international: A61B6/03; A61B6/03; G06T1/00
- european:
Application number: JP19980125884 19980508
Priority number(s):

W10/7

View INPADOC patent family

Also Published : |US5889833 (A1)|JP11004823 (A)

Abstract of JP11004823

PROBLEM TO BE SOLVED: To shorten scanning time while maintaining an image quality of a diagnostic image by providing a process to obtain projection data of a subject and a process to reversely project the projection data by imparting a reverse projection range of oneself to respective picture elements.

SOLUTION: A CT scanner 20 scans a subject, and generates conical beam projection (image) data, and stores the obtained projection data in a memory 21. In a reconstituting circuit 22 to input this projection data, one or plural slices of the subject are reconstituted, and an intermediate or final processing result is stored in the memory 21, and is displayed on a display 23. In the reconstituting circuit 22, an inverse projection operation is performed by using input from a filter, a weighting circuit, a complete condition circuit and a range circuit by a built-in reverse projection circuit, but a reverse projection range is decided according to a two-dimensional complete condition. Therefore, a high spiral pitch rate is made possible, on the one hand, reverse projection data is optimized while maintaining an image quality of a reconstituting image.

Claims of correspondent: US5889833

What is claimed as new and is desired to be secured by letters patent of the United States is:

1. An image reconstruction method, comprising:
obtaining projection data of a subject; and
backprojecting said projection data with pixels having a backprojection range.
2. A method as recited in claim 1, comprising:
determining said backprojection range using a completeness condition.
3. A method as recited in claim 2, comprising:
determining a minimal set of said projection data for image reconstruction based upon said completeness condition.
4. A method as recited in claim 1, comprising:
determining said backprojection range using a completeness condition such that substantially every line through a reconstructed slice of said subject intercepts a projection of an orbit of said source on said slice.
5. A method as recited in claim 1, where said backprojecting comprises using: ##EQU9## where: $f_i(x, y)$ is a reconstructed pixel at location x, y for slice i , ##EQU10## $g(\gamma, \gamma', n)$ is a filtering function, and $W(\beta, \gamma, x, y)$ is a weighting function.

W1017

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-4823

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	F I
A 6 1 B 6/03	3 2 1	A 6 1 B 6/03 3 2 1 Q
	3 5 0	3 5 0 U
G 0 6 T 1/00		G 0 6 F 15/62 3 9 0 B

審査請求 未請求 請求項の数40 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平10-125884

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月8日

(31) 優先権主張番号 8 7 7 2 1 1

(32) 優先日 1997年6月17日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 マイケル・ディー・シルバー

アメリカ合衆国、イリノイ州 60062、

ノースブルック、ダンストン・サーク

ル 602

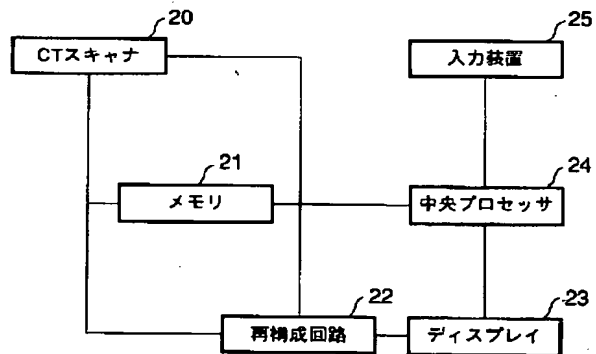
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 X線コンピュータ断層撮影装置

(57) 【要約】

【課題】 診断画像の画質を維持しつつもスキャン時間を短縮できるX線コンピュータ断層撮影装置を提供すること。

【解決手段】 画像再構成において画素が逆投影範囲を有する逆投影回路を具備し、各々の画素は自身の逆投影範囲を有する。逆投影範囲は完全条件を用いて決定される。逆投影回路及び完全条件回路はこの情報を逆投影回路に供給する。ここで言う完全条件とは、好ましくは二次元の（緩やかな）完全条件であって、画像再構成されるスライス上の全ての線が、当該スライス平面上への焦点軌道の投影と交差しなければならないという条件である。また、本発明は円錐形（コーン）ビームのジオメトリに適用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被写体の投影データを得る工程と、
各々の画素に自身の逆投影範囲を与えて前記投影データ
を逆投影する工程と、を具備することを特徴とする画像
再構成方法。

【請求項2】 完全条件を用いて前記逆投影範囲を決定
する工程を具備することを特徴とする請求項1に記載の
画像再構成方法。

【請求項3】 前記完全条件に基づいて、画像再構成の
ための前記投影データの最小セットを決定する工程を具
備することを特徴とする請求項2に記載の画像再構成方*

*法。

【請求項4】 前記被写体の再構成スライスを貫くほぼ
全てのラインが、当該スライスへの焦点軌道の投影と交
差するような完全条件を用い、前記逆投影範囲を決定す
る工程を具備することを特徴とする請求項1に記載の画
像再構成方法。

【請求項5】 $f_i(x, y)$ をスライス i の位置 x, y
における再構成画素とし、

次式 [1a] 乃至 [1c] すなわち、

【数1】

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{x \cos \beta + y \sin \beta}{R + x \sin \beta - y \cos \beta}, \quad [1a]$$

$$n = \frac{\beta}{2\pi L(\beta, x, y)}, \quad [1b]$$

$$L^2(\beta, x, y) = (R \sin \beta + x)^2 + (R \cos \beta - y)^2 \quad [1c]$$

を満足し、

$g(\gamma - \gamma', n)$ をフィルタリング関数とし、

$W(\beta, \gamma', x, y)$ を重み付け関数とすると、 ※20

$$f_i(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_{\beta_1(x, y)}^{\beta_2(x, y)} \frac{1}{L^2(\beta, x, y)} \int_{-\gamma_m}^{\gamma_m} w(\beta, \gamma', x, y) p(\beta, \gamma', n) g(\gamma - \gamma', n) d\gamma' d\beta$$

[2]

※前記逆投影する工程は次式 [2] すなわち、

【数2】

に示される演算から構成されることを特徴とする請求項
1に記載の画像再構成方法。

【請求項6】 前記投影データの最小セットを決定する
工程を具備し、

前記逆投影演算は、前記投影データの最小セットを用い 30
て実行されることを特徴とする請求項5に記載の画像再★

★構成方法。

【請求項7】 前記逆投影演算は、前記投影データのほ
ぼ全てを使用して実行されることを特徴とする請求項5
に記載の画像再構成方法。

【請求項8】 次式 [3] すなわち、

$$\beta_2(x, y) - \beta_1(x, y) = \pi + 2\gamma_m : 2\gamma_m \text{ は前記投影データの生} \quad [3]$$

成に用いられるX線ビームのファン角

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定する
工程を具備することを特徴とする請求項5に記載の画像
再構成方法。

☆【請求項9】 rH' を正規化ピッチ率とし、

次式 [4] すなわち、

☆ 【数3】

$$F(\beta'(x, y)) = \frac{\beta}{2\pi L(\beta, x, y)} \pm \frac{1}{2} = 0 \quad [4]$$

を満足する $F(\beta'(x, y))$ の平方根を、 β_1' 40 ◆次式 [5] すなわち、
(x, y) 及び β_2' (x, y) とするとき、 ◆

$$\beta_2' (x, y) - \beta_1' (x, y) \geq \pi + 2\gamma_m \quad [5]$$

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定する
工程を具備する請求項8に記載の画像再構成方法。

yにおける再構成画素とし、

次式 [6a] 乃至 [6c] すなわち、

【数4】

【請求項10】 $f_i(x, y)$ をスライス i の位置 $x,$

$$t = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad [6a]$$

$$n' = \frac{\theta}{2\pi} \frac{rH \cos \gamma}{U(\theta, x, y)}, \quad [6b]$$

$$U(\theta, x, y) = 1 - \frac{x \sin \theta}{R} + \frac{y \cos \theta}{R} \quad [6c]$$

を満足し、

$g(t - t', n')$ をフィルタリング関数とし、

$\omega(\theta, x, y)$ を重み付け又は補間関数のいずれか*

*つとするとき、

前記逆投影する工程は次式[7]すなわち、

[数5]

$$fi(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_{\theta 1(x, y)}^{\theta 2(x, y)} \omega(\theta, x, y) \int_{-\infty}^{\infty} p(\theta, t', n') g(t - t', n') dt' d\theta$$

[7]

に示される演算から構成されることを特徴とする請求項1に記載の画像再構成方法。

※を検出する工程と、次式[8a]乃至[8c]すなわち、

【請求項11】 複数列の検出器により前記投影データ※

$$-\theta = -\beta + \gamma$$

[8-a]

$$t = R \sin \gamma$$

[8b]

$$n' = n - (\gamma / 2\pi) rH$$

[8c]

ここで、

rH は螺旋ピッチ率

R は焦点距離

n は変換前の検出器列インデックス

n' は変換後の検出器列インデックス

β は y 軸と X 線ビーム中央軸とがなす角度

γ は β により与えられた投影内のレイ集合の角度

θ は x 軸を基準とする変換後のビュー角度

を満足するように前記投影データを交換する工程と、を★

$$\theta 2(x, y) - \theta 1(x, y) = \pi$$

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定する工程を具備することを特徴とする請求項10に記載の画像再構成方法。

20★具備することを特徴とする請求項10に記載の画像再構成方法。

【請求項12】 前記逆投影演算を実行するために前記投影データの最小セットを決定する工程を具備することを特徴とする請求項10に記載の画像再構成方法。

【請求項13】 前記逆投影演算は、前記投影データのほぼ全てを使用して実行されることを特徴とする請求項10に記載の画像再構成方法。

【請求項14】 次式[9]すなわち、

[9]

30☆【請求項15】 rH' を正規化ピッチ率とし、

次式[10]すなわち、

☆ [数6]

$$F(\theta'(x, y)) = \frac{\theta}{2\pi} \frac{rH' \cos \gamma}{U(\theta, x, y)} + \frac{\gamma rH'}{2\pi} \pm \frac{1}{2} = 0 \quad [10]$$

を満足する $F(\theta'(x, y))$ の平方根を、 $\theta 1'$

(x, y) 及び $\theta 2'(x, y)$ とするとき、

◆

$$\theta 2'(x, y) - \theta 1'(x, y) \geq \pi \quad [11]$$

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定する工程を具備することを特徴とする請求項14に記載の画像再構成方法。

*する工程により構成されることを特徴とする請求項1に記載の画像再構成方法。

【請求項16】 前記逆投影する工程は、前記各々の画素に個別の逆投影範囲を与えて前記投影データを逆投影*

【請求項17】 複数列の検出器により前記投影データを検出する工程と、

次式[12a]乃至[12c]すなわち、

$$\theta = \beta + \gamma$$

[12a]

$$t = R \sin \gamma$$

[12b]

$$n' = n - (\gamma / 2\pi) rH$$

[12c]

ここで、

rH は螺旋ピッチ率

R は焦点距離

n は変換前の検出器列インデックス

n' は変換後の検出器列インデックス

β は y 軸と X 線ビーム中央軸とがなす角度

γ は β により与えられた投影内のレイ集合の角度

50 θ は x 軸を基準とする変換後のビュー角度

を満足するように前記投影データを変換する工程と、を具備することを特徴とする請求項 1 に記載の画像再構成方法。

【請求項 18】 被写体を螺旋スキャンする工程と、再構成画像の各々の画素の逆投影範囲を決定する工程と、

前記逆投影範囲に基づいて螺旋ピッチ率を決定する工程とを具備することを特徴とする X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 19】 前記螺旋ピッチ率を決定する工程は、完全条件を決定する工程と、前記条件を満足する画素のみを使用する工程と、によって構成されることを特徴とする請求項 18 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 20】 投影データを得る工程と、前記投影データを、前記スキャンした横断面上におけるパラレルビームのレイ集合に変換する工程と、を具備することを特徴とする請求項 18 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 21】 前記被写体の再構成スライスを貫くほぼすべての線が前記スライスへの焦点軌道の投影と交差するように前記逆投影範囲を決定する工程を具備することを特徴とする請求項 18 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 22】 前記螺旋ピッチ率を決定する工程は、前記再構成画像の生成に用いられるデータ量を決定する工程と、所定の完全条件を満足する前記再構成画像のほぼ全量を定量する工程と、を具備することを特徴とする請求項 18 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 23】 前記完全条件を満足する再構成画像のほぼ全量を定量する工程と、

* 前記再構成画像のほぼ全量に相当する最大データ量を定量する工程と、を具備することを特徴とする請求項 22 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 24】 画質に基づき、前記再構成画像の量及び前記データ量を定量する工程を具備することを特徴とする請求項 22 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 25】 前記定量された再構成画像の全量、及びこれに相当する最大データ量に応じて第 1 の螺旋ピッチ率を決定する工程と、

前記再構成画像の全量よりも少なく、且つ前記最大データ量よりも多いデータを用いることにより前記第 1 の螺旋ピッチ率を増加させる工程と、を具備することを特徴とする請求項 22 に記載の X 線コンピュータ断層撮影装置の画像再構成方法。

【請求項 26】 逆投影回路と、前記逆投影回路に接続される逆投影範囲回路と、前記逆投影回路に接続される完全条件回路と、を具備することを特徴とする画像再構成装置。

【請求項 27】 前記完全条件回路は、画像再構成のための投影データの最小セットを決定する手段により構成されることを特徴とする請求項 26 に記載の画像再構成装置。

【請求項 28】 前記完全条件回路は、スライス平面への焦点軌道の投影と交差するように再構成スライスを貫く線を選定する手段により構成されることを特徴とする請求項 26 に記載の画像再構成装置。

【請求項 29】 $f_i(x, y)$ をスライス i の位置 x, y における再構成画素とし、次式 [13a] 乃至 [13c] すなわち、
【数 7】

$$y = \tan^{-1} \frac{x \cos \beta + y \sin \beta}{R + x \sin \beta - y \cos \beta}, \quad [13a]$$

$$n = \frac{\beta}{2\pi} \frac{RrH}{L(\beta, x, y)}, \quad [13b]$$

$$L^2(\beta, x, y) = (R \sin \beta + x)^2 + (R \cos \beta - y)^2 \quad [13c]$$

を満足し、

$g(\gamma - \gamma', n)$ をフィルタリング関数とし、

$W(\beta, \gamma', x, y)$ を重み付け関数とすると、

$$f_i(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_{\beta_1(x, y)}^{\beta_2(x, y)} \frac{1}{L^2(\beta, x, y)} \int_{-\gamma_m}^{\gamma_m} W(\beta, \gamma', x, y) p(\beta, \gamma', n) g(\gamma - \gamma', n) d\gamma' d\beta$$

[14]

に示される演算を実行することを特徴とする請求項 26 に記載の画像再構成装置。

★【請求項 30】 前記逆投影範囲回路は、

★ 次式 [15] すなわち、

$$\beta_2(x, y) - \beta_1(x, y) = \pi + 2\gamma_m: 2\gamma_m \text{ は前記投影データの生}$$

*

40※ 前記逆投影回路は、次式 [14] すなわち、

【数 8】

成に用いられるX線ビームのファン角

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定することを特徴とする請求項29に記載の画像再構成装置。

【請求項31】 前記逆投影回路は、投影データの最小セットを用いて前記逆投影演算を実行することを特徴とする請求項29に記載の画像再構成装置。

【請求項32】 前記逆投影回路は、ほぼ全ての投影デ

$$\theta = \beta + \gamma$$

$$t = R \sin \gamma$$

$$n' = n - (\gamma / 2\pi) r H$$

ここで、

r Hは螺旋ピッチ率

Rは焦点距離

nは変換前の検出器列インデックス

n'は変換後の検出器列インデックス

β はy軸とX線ビーム中央軸とがなす角度

γ は β により与えられた投影内のレイ集合の角度

θ はx軸を基準とする変換後のビュー角度

※

$$t = x \cos \theta + y \sin \theta,$$

$$n' = \frac{\theta}{2\pi} \frac{r H \cos \gamma}{U(\theta, x, y)},$$

$$U(\theta, x, y) = 1 - \frac{x \sin \theta}{R} + \frac{y \cos \theta}{R}$$

を満足し、

$g(t - t', n')$ をフィルタリング関数とし、

$\omega(\theta, x, y)$ を重み付け又は補間関数のいずれか一★

$$f_i(x, y) = \frac{1}{\Pi} \int_{\theta 1(x, y)}^{\theta 2(x, y)} \omega(\theta, x, y) \int_{-\infty}^{\infty} p(\theta, t', n') g(t - t', n') dt' d\theta$$

に示される演算を実行することを特徴とする請求項26に記載の画像再構成装置。

$$\theta = \beta + \gamma$$

$$t = R \sin \gamma$$

$$n' = n - (\gamma / 2\pi) r H$$

ここで、

r Hは螺旋ピッチ率

Rは焦点距離

nは変換前の検出器列インデックス

n'は変換後の検出器列インデックス

β はy軸とX線ビーム中央軸とがなす角度

$$\theta 2(x, y) - \theta 1(x, y) = \pi$$

を満足するように前記逆投影演算の積分限界を設定することを特徴とする請求項34に記載の画像再構成装置。

【請求項37】 前記逆投影回路は、投影データの最小セットを用いて前記逆投影演算を実行することを特徴とする請求項34に記載の画像再構成装置。

【請求項38】 前記逆投影回路は、ほぼ全ての投影データを用いて前記逆投影演算を実行することを特徴とす

[15]

*ータを用いて前記逆投影演算を実行することを特徴とする請求項29に記載の画像再構成装置。

【請求項33】 複数列を有する検出器と、投影データを作成する手段と、

次式[16a]乃至[16c]すなわち、

$$[16a]$$

$$[16b]$$

$$[16c]$$

※を満足するように前記投影データを交換する手段と、を具備することを特徴とする請求項26に記載の画像再構成装置。

【請求項34】 $f_i(x, y)$ をスライスiの位置x, yにおける再構成画素とし、

次式[17a]乃至[17c]すなわち、

[数9]

$$[17a]$$

$$[17b]$$

$$[17c]$$

★つとするとき、

前記逆投影回路は、次式[18]すなわち、

[数10]

[18]

☆【請求項35】 前記逆投影回路は、次式[19a]乃至[19c]すなわち、

$$[19a]$$

$$[19b]$$

$$[19c]$$

◆ γ は β により与えられた投影内のレイ集合の角度

θ はx軸を基準とする変換後のビュー角度

に示される条件を用いることを特徴とする請求項34に記載の画像再構成装置。

40

【請求項36】 前記逆投影範囲回路は、次式[20]すなわち、

$$[20]$$

る請求項34に記載の画像再構成装置。

【請求項39】 中心部の素子列が第1のアキシャルピッチを有し、他の部分の素子列が前記第1のアキシャルピッチよりも広い第2のアキシャルピッチを有し、投影データを検出する検出器を具備することを特徴とする請求項26に記載の画像再構成装置。

50

【請求項40】 X線源と、

前記X線源に対向して配置され、中心部の素子列が第1のアキシャルピッチを有し、他の部分の素子列が前記第1のアキシャルピッチよりも広い第2のアキシャルピッチを有する検出器と、を具備するX線コンピュータ断層撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被写体にX線を曝射し、これにより得られる投影データに基づく再構成演算を行うことにより当該被写体の断層像を得るX線コンピュータ断層撮影装置に関し、特に、円錐状のX線ビーム（「コーンビーム」とも称する）を用いてヘリカルスキャン（「螺旋状スキャン」とも称する）を行うX線コンピュータ断層撮影装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図1に示されるように、X線コンピュータ断層撮影装置はコリメーター11から一般的に円錐形のX線を照射するX線管10および患者13（一般に、寝台天板14に横たわっている）等の被写体（物体）を透過したX線を検出するための検出器アレイを有している。被写体をスキャンして、投影されたデータを再現するために、検出器12は被写体をはさんでX線管10とは反対側に位置しており、被写体を中心にしてX線管10と検出器12とが一体的に回転することによりスライス画像を得ることができる（軌道15にて図示）。一般に、螺旋軌道を得るために患者13が搬送される間、X線管10及び検出器12はガントリ（図示せず）において環状に回転する。回転の中心16は通常、スキャンされる被写体の断面中心近傍に位置付けられる。

【0003】螺旋状スキャンにおいて、その軌道は被写体が載置された寝台天板の体軸方向への移動速度 v に回転周期 T を掛けることによって求める。もし、基準スライス幅（スキャナの回転中心に投影した検出器アレイ素子の軸方向開口幅）を w とすると、螺旋ピッチの比率、すなわち、（回転中心に投影した）検出器素子の軸方向開口幅に対する螺旋ピッチ（ガントリが一回転する間の寝台天板の移動量）の割合は $rH = vT/w$ により求まる。

【0004】患者のスクリーニング及びCTアンギオグラフィ（CTA）などといった幾つかの応用分野においては、診断画像の画質をその最高レベルまで追求することよりも、スループットの方が重要となる場合がある。CTAの場合、スキャン時間を短縮することは患者の体動による影響を低減できるため画質の向上につながる。しかしながら、従来のCTスキャナでは、検出器アレイが一行であるため、興味ある被写体の箇所をカバーするために多数の回転が必要となり、 $rH < 2$ となっていた。したがって、所定の画質を維持しつつもスキャン時間を短縮することは困難であるという問題点があった。

【0005】また、画像再構成演算は積分限界を固定とする逆投影法に従って実行される。換言すれば、画像再構成においては、一般に、再構成画素に最も近いビームの補間演算が行われる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、診断画像の画質を維持しつつもスキャン時間を短縮できるX線コンピュータ断層撮影装置を提供することである。

【0007】本発明の別の目的は、二次元の完全条件を満足するように螺旋状スキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置を提供することである。

【0008】本発明の更に別の目的は、オブジェクトの各々の画素が画像再構成のための最小データ範囲を有するように、当該オブジェクトを螺旋状スキャンするX線コンピュータ断層撮影装置を提供することである。

【0009】本発明の更に別の目的は、各々の画素に逆投影範囲を与えて画像再構成を行うX線コンピュータ断層撮影装置を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し目的を達成するために本発明のX線コンピュータ断層撮影装置は次のように構成されている。

【0011】すなわち、本発明のX線コンピュータ断層撮影装置は、画像再構成において画素が逆投影範囲を有する逆投影回路を具備する。なお、各々の画素が独自の逆投影範囲を有していても良い。逆投影範囲は完全条件を用いて決定されても良い。逆投影回路及び完全条件回路はこの情報を逆投影回路に供給する。ここで言う完全条件とは、好ましくは二次元の（緩やかな）完全条件であって、画像再構成されるスライス上の全ての線が、当該スライス平面上への焦点軌道の投影と交差しなければならないという条件である。この条件を用いることにより、装置の螺旋ピッチを大きくしても所要の画質を維持することができる。

【0012】また、本発明のX線コンピュータ断層撮影装置は、好ましくは円錐形（コーン）ビームのジオメトリに應用される。先ず円錐形ビームによりスキャンを行うことによって円錐形ビーム投影データを作成する。円錐形ビーム投影データはコーン角を維持した横断面上の平行ビーム・レイの集合に変換される。または、横断面上のファンビーム・レイのままとしても良い。本発明のX線コンピュータ断層撮影装置は螺旋ピッチをより増大し、これによりスキャン時間を短縮すべく変換を有効的に利用する。

【0013】また、本発明の装置は螺旋ピッチを増大させるため、完全条件を満足する投影データの最小セットを用いる。なお、投影データの全セットが用いられても良い。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明

の実施形態を説明する。なお、全図にわたって同一の部分には同一の参照符号が付してある。

【0015】図1は本発明の一実施形態に係るX線コンピュータ断層撮影装置(CT)の概略構成を示す斜視図である。図1に示すように、X線管10と検出器12とが患者13の如き被写体の周囲を、円を描くように回転する。X線管10と検出器12とは一般的にはガントリ内に配置されており、スリッリング機構により連続回転が可能となっている。X線管10から照射されたX線を形成するために、コリメーター11が用いられる。患者13は、そのほぼ断面中心を回転中心が通るように位置合わせされているが、これは必ずしも必要ではない。X線管10と検出器12とが回転している間に寝台天板14は搬送される。これにより患者13の周囲においてX線管10及び検出器12が螺旋軌道を描く。

【0016】図2は本発明に係るシステム構成を示すブロック図である。例えば、CTスキャナ20は、図1において説明した構成要素を有しており、被写体をスキャンし、投影データ、好ましくは円錐形ビーム投影データを生成する。投影データはメモリ21にストアされる。

【0017】この画像(投影)データは、CTスキャナ20又はメモリ21から再構成回路22に送出される。再構成回路22は画像データから被写体の一枚又は複数枚のスライスを再構成し、中間又は最終処理の結果をメモリ21にストアする。この再構成データは画像端末のようなディスプレイ23に表示することができる。

【0018】本システムの構成要素は、キーボード及び/又はマウスのような入力装置25からの情報入力に基づき、中央プロセッサ24によって制御される。中央プロセッサ24はシステムを操作し制御すべく設計された*

$$rH = vT/w$$

尚、次式(2)に示すように、螺旋ピッチを(回転中心に投影した)検出器アレイの軸方向の長さで除することにより、正規化された螺旋ピッチ比率 rH' を定義し*

$$rH' / N = vT / Nw$$

二次元検出器アレイはX線源に対向するように配置され、円筒の一部を切り取ったような形状を有するが、この形状のみに限定されない。検出器アレイが例えば平坦な形状を有するような場合は、後述する演算式を変形して用いれば良い。

【0025】以上のような三次元のスキャン・ジオメトリにおいて、比較的アーチファクトの少ない適切な画質を期待できるか否かに関する指標として、本発明に係る二次元の(緩やかな;弱い)完全条件を用いることにより、ラドン空間の数学的完全条件の問題を無視できる。すなわち、「全ての平面は、スキャンされた被写体と交差し且つ焦点軌道と交差しなければならない」という三次元の完全条件は、「再構成スライスを貫く全ての線はスライス平面上への焦点軌道の投影と交差しなければならない」という条件に置き換えられる。

*ソフトウェアを備えたコンピュータ、又は専用のマイクロプロセッサから成る。操作者は入力装置25を一般的に用い、スキャナによるスキャン動作を制御するためのパラメータ、再構成回路による再構成処理を制御するためのパラメータ、及び情報の表示を制御するためのパラメータを入力する。なお、動作パラメータの大部分が制御ソフトウェア内において事前に設定されていても良く、スキャン動作及び再構成処理の所定のパラメータセットを操作者が選択可能となっても良い。

【0019】図3は再構成回路22の概略構成を示すブロック図である。逆投影回路33はフィルタ30、重み付け回路31、完全条件回路32、及び範囲回路34からの入力を用いて逆投影演算を実行する。

【0020】なお、図2及び図3に示した回路は汎用コンピュータ又は専用マイクロプロセッサ上にソフトウェアとしてインプリメントしても良い。このプログラムを例えば中央プロセッサ24に実行させても良い。

【0021】以下、再構成回路22の動作について説明する。本システムのパラメータは例えば次のように定義される。

【0022】 v : 寝台天板の一定移動速度

T : ガントリの回転周期

w : 基準スライス幅; 検出器アレイ素子の軸方向開口幅

rH : 螺旋ピッチ率

螺旋ピッチ率 rH は、(回転中心に投影した)検出器素子の軸方向開口幅に対する螺旋ピッチ(ガントリが一回転する間の寝台天板の移動量)の割合であって、次式(1)により与えられる。

【0023】

$$(1)$$

※でも良い。なお、 N は検出器アレイの列数である。

【0024】

$$(2)$$

【0026】二次元の完全条件を利用することにより、適切な画質が得られる最大のヘリカルピッチを推定する。これは、少なくとも例えば被検体の主に全身を診断するスクリーニング及びCTアンギオグラフィーに応用できる。かかるCTアンギオグラフィーにおいては、スキャン時間の短縮によって、被検体の体動によるモーションアーチファクトを低減でき、動的な診断範囲を拡大できる。

【0027】二次元の完全条件は再構成におけるラドン空間の条件よりも緩やかであり、このため横断面内のパラレルビームへの変換は、かかる二次元の完全条件を損なうことなく、変換を行わない場合よりも高い螺旋ピッチ率を実現可能にする。

【0028】図4は円錐形ビーム・ジオメトリの横断面を示す図である。焦点40として示されるX線源からF

OV42内の回転中心41までの距離はRによって与えられる。ファンビームは、検出器12に入射するファンビームX線の幅(ファン角) 2γ と、回転中心41を通るファンビームのレイとy軸とがなす角 β とによって表される。パラレルビームは同図に示すように変数 θ 及びtによって表される。

【0029】ここで、円錐形ビーム投影データを、コーン角を維持した横断面のパラレルビームのレイ集合に変換する場合と、かかる変換を行わずに横断面上のファンビーム・レイのままとした場合の二通りの方法に従って*10

$$\theta = \beta + \gamma \quad (3a)$$

$$t = R \sin \gamma \quad (3b)$$

$$n' = n - (\gamma/2\pi) rH \quad (3c)$$

上式(3c)においては、ビュー角を θ とすると、異なるレイtの集合の間において生じる被検体の移動に応じた検出器列のシフトを表す。

【0032】次に、コーン(円錐形)ビームによりヘリカル(螺旋)スキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置の不完全再構成アルゴリズム(Inconsistent Helical Cone-Beam、以下、「IHCB」と略称する)に関する幾つかの実施例を説明する。具体的には、パラレルビーム又はファンビームのいずれかをを用いてスキャンし、これにより得られた全データセット又は最小データセットのいずれかをを用いるという各々の場合に対応する4つの実施例について説明する。なお、全データセットを用いる再構成とは、一つの画素に当たる全てのビームに基づくデータが再構成に用いられることである。再構成アルゴリズムについて述べる前に、次のことを留意しておくべきである。すなわち、コーンビーム・ヘリカルCTにおいて所定の断層スライス30はコーンビームの回転期間中に平行移動するた ※

$$f_i(x, y) = \frac{1}{\Pi} \int_{\beta_1(x, y)}^{\beta_2(x, y)} \frac{1}{L^2(\beta, x, y)} \int_{-\gamma_m}^{\gamma_m} w(\beta, \gamma', x, y) p(\beta, \gamma', n) g(\gamma - \gamma', n) d\gamma' d\beta$$

(4)

【0035】なお、 $f_i(x, y)$ はスライスiの位置x, yにおける再構成画素、 $g(\gamma - \gamma', n)$ は任意列の重み付けを行うコンボリューション・フィルタ、 $W(\beta, \gamma', x, y)$ は後述するParker-like★40 【数12】

★eのような重み付けを表す。また、次式(5a)～(5c)に示す条件を満足する。

【0036】

【数11】

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{x \cos \beta + y \sin \beta}{R + x \sin \beta - y \cos \beta} \quad (5a)$$

$$n = \frac{\beta}{2\pi L(\beta, x, y)} \quad (5b)$$

$$L^2(\beta, x, y) = (R \sin \beta + x)^2 + (R \cos \beta - y)^2 \quad (5c)$$

【0037】フィルタ回路30及び重み付け回路31は逆投影アルゴリズムに用いられるフィルタ重み付け演算を実現する。使用される重み付け量又は重み付け方法は、ユーザーからの要求により変更されても良い。範囲 50

*行われた分析について説明する。二通りの方法とは、図4において、パラレルビーム表現のための変数 θ 、tを用いる場合と、ファンビーム表現のための当初の値(変数) β 、 γ を用いる場合を意味する。

【0030】発散型の投影 $p(\beta, \gamma, n)$ からセミパラレル投影 $p(\theta, t, n')$ への等式は次式(3)によって与えられる。なお、 n' は検出器の列インデックスである。

【0031】

※め、かかる断層スライス30は、あるときは広いコーン角からのX線照射を受け、またあるときはコーンビームのMidplaneからのX線照射を受けるといふ具合に、連続的なX線照射を受ける。画質という観点から見て、本CTによって得られる全てのスライスは等価であり、単一のスライスのみを考慮(非ヘリカル)のコーンビームCTの場合とは異なる)する。

【0033】最初に、コーンビーム-パラレルビーム変換を行わない、ファンビーム版のIHCBに関する第1実施例について説明する。最小データセットを用いる第1実施例の再構成アルゴリズムにおいて、再構成回路22はヘリカルFeldkampアルゴリズムの変形を実現する。すなわち、このアルゴリズムは適切な三次元逆投影を行うに当たり、各々の画素が自身の逆投影範囲を有するものであって、次式(4)のように表される。

【0034】

【数11】

回路34は各々の画素の逆投影範囲を決定する。

【0038】不完全逆投影は、各々の画素(x, y)が自身の逆投影範囲を有することを意味する。この範囲は、逆投影の積分限界であって且つ関数としての β 1

(x, y) 及び $\beta 2(x, y)$ によって表される。これら積分区間は、x, y に依存しない従来の再構成方法とは対照的に、x, y に依存する。角度 β によって示される線源位置の角度範囲、又はビューは、x, y における画素を通る線源焦点から検出器アレイまでのX線パスを*

$$\left| \frac{\beta - \frac{RrH'}{2\pi L(\beta, x, y)}}{\frac{1}{2}} \right| \leq \frac{1}{2} \quad (6)$$

【0040】 $\beta 1'(x, y)$ 及び $\beta 2'(x, y)$ ※【0041】
は、等式化した式(6)の平方根によって与えられる。※10 【数14】

$$F(\beta'(x, y)) = \frac{\beta}{2\pi L(\beta, x, y)} \pm \frac{1}{2} = 0 \quad (7)$$

【0042】図5は、 β の関数であって選択された画素について検出器アレイの所定列を通るレイ集合の軌跡を示すグラフである。この例では、FOV=500mm、R=600mm、 $rH'=1.5$ とした場合の、回転中心及び東西南北の最端に位置する各々画素が選択されている。(検出器列 $\pm 1/2$ の部分を通断する)曲線が検出器アレイ列を離れる各々のガントリ角度は、各々の画★20

$$\beta 2(x, y) - \beta 1(x, y) = \pi + 2\gamma m \quad \forall x, y \quad (8)$$

【0045】したがって、弱完全条件を満足させるために逆投影範囲を次式(9)に限定する。なお、 $2\gamma m$ は横断面におけるファン角を示す。

$$\beta 2'(x, y) - \beta 1'(x, y) \geq \pi + 2\gamma m \quad \forall x, y \quad (9)$$

【0047】 $\beta 1$ 及び $\beta 2$ は、上式(8)を満たすと共に $1/2(\beta 1 + \beta 2)$ が可能な限り「0」に近くなるような、包括的な $\beta 1'$ と $\beta 2'$ の区間に収まる。

【0048】図6及び図7は 32×32 の再構成マトリックスをベースにした再構成スライスのマップを示す図及び同マップに基づくグラフである。ここで、マップ内の位置は画像の(x, y)に相当し、マップ値は $\beta 2'(x, y) - \beta 1'(x, y)$ である。この数値は、スライスの所定領域がコーンビーム内に含まれる範囲を角度(degree)によって表す。例えば、最北端の画素がコーンビーム中となる角度範囲は 339° であり、一方、最南端の画素の場合は 223° である。このデータは、正規化ヘリカルピッチ=1.5、R=600mm、FOV直径500mm、再構成半径250mmの条件下で作成された。

【0049】図8はコーンビームによりヘリカルスキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置の従来例に係る完全再構成アルゴリズム(コーンビーム-パラレルビーム変換は行わない)によって得られた再構成スライスのマップを示す図である。この再構成アルゴリズムにおいては、弱完全条件 $\pi + 2\gamma m$ にてクリッピングされるが完全逆投影条件: $\beta 1'(x, y) \geq -(\pi/2 + \gamma m)$ 及び $\beta 2'(x, y) \leq (\pi/2 + \gamma m)$ を包含する $\beta 2'(x, y)$ 及び $\beta 1'(x, y)$ が用いられ

* 含み、次式(6)に示す不等式が成立する場合に与えられる。

【0039】

【数13】

★素毎で $\beta 1'$, $\beta 2'$ である。

【0043】本発明に係る不完全条件に関して適切な画質を得るために逆投影アルゴリズムにおいて必要となる最小データセットは回路32により決定される。実際には、逆投影範囲を次式(8)に限定する。

【0044】

【数15】

☆【0046】

【数16】

た。このデータは図6において説明したものと同一条件を用いて作成された。本例においては、弱完全条件を満足させるために、各々の画素は -115° から 115° まで ($\pm 1/2 [180^\circ + 50^\circ \text{ファン角}]$) のスライス内に存在しなければならない。このため、 $\pi + 2\gamma m$ よりも小さい図8のエントリは、無矛盾の完全(弱完全条件)データセットではその位置の再構成が不可能であることを意味している。画素のわずか26%が完全条件(値231は $\pm 215^\circ$ を含む整数角度へのコンピュータ量子化によるものである)に合致する。一方、図6のエントリが $\pi + 2\gamma m$ よりも大である限り、弱完全条件を満足する不完全逆投影が可能である。

【0050】図9及び図10は上端エントリである $\beta 1'(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2'(x, y)$ の値のマップを示す図である。上端エントリはX線照射の最初のガントリ角度であり、下端エントリは照射の最後のガントリ角度である。最初と最後の角度の違いが図6に示される範囲である。

【0051】図11及び図12は上端エントリである $\beta 1(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2(x, y)$ の値のマップを示す図である。このマップは、各々の画素が自身の逆投影範囲を有するというIHC Bアルゴリズムの図6の場合と同様の制限において要求される

最小データセットのためのデータ使用量を表す。約50

%のスライスが弱完全条件を満たしている（最初と最終の角度差は $180^\circ + \text{ファン角}(230^\circ)$ である）。

【0052】上式（4）及び（5）は、 $\beta = 0$ におけるビューがスライス平面内の焦点位置を有するように、ガントリ角度が各スライス毎にリセットされることを前提とする。このため、もし本アルゴリズムを記載の通りに

実現すると、各スライスは $2\pi\Delta z/vT$ （ Δz はスライス間の軸ピッチ）で隣接スライスに対して回転する。

スライスが正確な角度配向を呈し、 $1/2$ （ $\beta_1 + \beta_2$ ）が可能な限り0に近づく条件のために、 β の実際の値又は β の絶対値が、上式（5b）の分子を除く上式

（4）及び（5）に用いられ、あるいは β の相対値が用*

$$f_1(x, y) = \frac{1}{\Pi} \int_{\theta_1(x, y)}^{\theta_2(x, y)} \omega(\theta, x, y) \int_{-\infty}^{\infty} p(\theta, t', n') g(t - t', n') dt' d\theta$$

(10)

【0055】ここで、 $f_1(x, y)$ はスライス上の位置 x, y において再構成された画素である。また、次式（11）を満足する。

$$t = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (11a)$$

$$n' = \frac{\theta}{2\pi} \frac{rH \cos \gamma}{U(\theta, x, y)}, \quad (11b)$$

$$U(\theta, x, y) = 1 - \frac{x \sin \theta}{R} + \frac{y \cos \theta}{R} \quad (11c)$$

【0057】また、 $g(t - t', n')$ は任意列の重み付けを行うコンボリューションフィルタであり、 $\omega(\theta, x, y)$ は重み付け又は補間関数である。

【0058】上述したように不完全逆投影は各々の画素 (x, y) が自身の逆投影範囲を有することを意味し、この範囲は逆投影の積分限界であって且つ関数としての $\theta_1(x, y)$ 及び $\theta_2(x, y)$ によって表される。★

$$\left| \frac{\theta}{2\pi} \frac{rH \cos \gamma}{U(\theta, x, y)} + \frac{\gamma rH'}{2\pi} \right| \leq \frac{1}{2} \quad (12)$$

【0061】式（3c）は当初の検出器列を溯って参照するために用いられる。 $\theta'_1(x, y)$ と $\theta'_2(x, y)$ は等式化した上式の平方根によって与えられ☆

$$F(\theta'(x, y)) = \frac{\theta}{2\pi} \frac{rH \cos \gamma}{U(\theta, x, y)} + \frac{\gamma rH'}{2\pi} \pm \frac{1}{2} = 0 \quad (13)$$

【0063】図13は θ の関数であって選択された画素について検出器アレイの所定列を通るレイ集合の軌跡を示すグラフである。図5の場合と同様にし、横断面におけるパラレルビーム変換後の東西南北の最端に位置する各々画素の軌跡が与えられている。（検出器列 $\pm 1/2$ の部分で横断する）曲線が検出器アレイ列を離れる各々の投影角度は、各々の画素毎で θ_1' 、 β_2' である。◆

$$\theta_2(x, y) - \theta_1(x, y) = \pi \quad \forall x, y$$

*いられる。

【0053】オーバーカウントを防ぐためにParker-likeの重み付けを用いる場合、式（4）は実現に際し冗長となり得る。Parker-likeの重み付けは各々の画素毎で異なり、このため各々の画素は自身が積み込まれたデータセットを必要とする。第2及び第3実施例において、本発明は横断面内のパラレル・レイへの変換を採用する。Parker-likeの重み付けは本分析には入れていない。ここに、再構成アルゴリズムは次式（10）の通りである。

【0054】

【数17】

※【0056】

【数18】

★【0059】角度 θ で規定される二次元投影の角度範囲、又はビューは、 x, y における画素を通る線源焦点から検出器アレイまでのX線パスを含み、次式（12）に示す不等式が成立する場合に与えられる。

【0060】

【数19】

☆る。

【0062】

【数20】

◆【0064】本実施例においても、不完全条件に関して適切な画質を得るために逆投影アルゴリズムにおいて必要となる最小データセットが決定され、利用される。実際には、逆投影範囲を次式（14）に限定する。

【0065】

【数21】

(14)

【0066】したがって、弱完全条件を満足させるために逆投影範囲を次式(15)に限定する。

$$\theta_2'(x, y) - \theta_1'(x, y) \geq \pi$$

【0068】 θ_1 及び θ_2 は、上式(14)を満たすと共に $1/2(\theta_1 + \theta_2)$ が可能な限り「0」に近くなるような、包括的な θ_1' と θ_2' の区間内に収まる。図11は再構成スライスのマップを示す図である。ここで、マップ内の位置は画像の (x, y) に相当し、マップ値は $\theta_2'(x, y) - \theta_1'(x, y)$ である。図14及び図15は弱完全条件 π にてクリッピングされるが完全逆投影条件： $\theta_1'(x, y) > -\pi/2$ 及び $\theta_2'(x, y) < \pi/2$ を包含する $\theta_2'(x, y) - \theta_1'(x, y)$ のマップを示す図である。このため、 π よりも小さい図14及び図15のエントリは、無矛盾の完全(弱完全条件)データセットではその位置を再構成できないことを意味している。一方、図11のエントリが π よりも大である限り、弱完全条件を満足する不完全逆投影が可能である。

【0069】図16及び図17は上端エントリである $\theta_1'(x, y)$ の値及び下端エントリである θ_2' ※20

$$\sum_k \omega(\theta + k\pi, x, y) = 1$$

【0072】ここに k は次式(17)を満たす整数である。

$$\theta_1'(x, y) \leq \theta(x, y) + k\pi \leq \theta_2'(x, y)$$

【0074】大きなコーン角でのアーチファクトを低減するため $\theta + k\pi = 0$ で最大となる距離の重み付け関数は、好ましくは ω である。

【0075】上述したIHCBアルゴリズムはコーンビームによりヘリカルスキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置の完全再構成アルゴリズム(consistent Helical Cone-Beam、以下、「CHCB」と略称する)と対比される。コーンビーム-パラレルビーム変換後の最も簡単なCHCBアルゴリズムは、重み付け関数を使用せず、逆投影の積分限界を $\theta_1, 2 = \pm\pi/2$ とするものである。しかしながら、☆

	変換なし	変換あり
CHCB	0.90	1.14
IHCB	1.40	1.68

【0077】これらの値はFOV=500mm、R=600mmとして求めた値であり、パラメータが異なる他のスキャナーでは、結果として得られる値が異なってくる。

【0078】上述した分析は、さらに、最小データセットを用いる場合について実行可能である。何分の一の画像が弱完全条件を満足するのか、及びデータの何パーセ

*【0067】

*【数22】

$$\forall x, y \quad (15)$$

※ (x, y) の値のマップを示す図である。また図18及び図19は上端エントリである $\theta_1(x, y)$ の値及び下端エントリである $\theta_2(x, y)$ の値のマップを示す図である。重み付け関数 ω は無視する(1にセットする)。

【0070】第3実施例においては、利用可能な全てのデータが用いられ、逆投影範囲は $\theta_1(x, y) = \theta_1'(x, y)$ 、 $\theta_2(x, y) = \theta_2'(x, y)$ をセットし、重み付け関数 ω が導入される。すなわち、コンボリューション/バックプロジェクション(逆投影)し、最小データ逆投影制限を用いる以前に、以下に列挙した重み付け条件を用いることで投影データを平均化することができる。殆どの画素が180°以上の θ 範囲を有し、したがって重み付け関数は次式(16)に従う。

【0071】

【数23】

$$(16)$$

★【0073】

★【数24】

$$(17)$$

☆ビュー全体にわたって弱完全条件を阻害しない最大のヘリカルピッチ率は、IHCBよりも極めて小さい。以下の表は、図5に関連して述べたスキャンパラメータを用いた場合における各々の再構成方法の r_H' の応用例をまとめたものである。変換を行う場合は $r_H' \leq 1.14$ であり、変換を行わない場合は $r_H' \leq 0.90$ であり、IHCBアルゴリズムとCHCBアルゴリズムとが同一であることに注目すべきである。

【0076】

【表1】

ントが画像再構成に利用可能であるのか、をヘリカルピッチ率の関数として決定する。

【0079】図20は変換なしの場合の結果を示す図である。図20において右側の縦軸は弱完全条件に従う再構成画像の割合を示す。ダイヤ型のプロットを含む実線は本発明の方法によるものである。一点鎖線は、従来のアルゴリズム(CHCB)を示すものである。左側の縦

軸は使用データの割合を示している。円形プロットを伴う曲線は左軸に対応し、この曲線は両アルゴリズムにおいて同様である。図21は横断面のバラレルビームを交換した場合の結果を示す図である。曲線及び軸の定義は図20の場合と同様である。全ての画素が弱完全条件を満たす最も高いヘリカルピッチ率(上記の例では「1.68(変換あり)」)ではレイ集合の82%が使用される。より高いヘリカルピッチ率は、再構成されたFOVのある領域の画質を犠牲にするが、利用可能データの割合増加に寄与する。一方、より低いヘリカルピッチ率は、完全性を満足し、おそらくは画質を向上でき、スライス感度プロファイルをより狭めることができるが、利用可能データの割合が低下する。もちろん、第3実施例は、その定義により、図21と同じ完全条件曲線であって、どの「H」に対してもデータの100%を用いる再構成に適用され、第2実施例よりもスライス感度プロファイルを拡大できる。

【0080】最小データセットを忠実に守ることにより、レイ集合を用いる場合と用いない場合の第1実施例(変換なし)と第2実施例(変換あり)を求めることができる。これにより、ヘリカルピッチの関数、およびレイ集合がどの検出器列に属しているかを表す関数を得ることができる。図22(変換なし)及び図23(変換あり)は、幾つかのヘリカルピッチ率に対する、検出器の相対列上のレイ集合のヒストグラム分布を示すグラフである。ヒストグラムの1の値はその検出器列のすべてのレイ集合が逆投影されることを意味する。なお、平面検出器の中央部分は全て用いられ、検出器の端の部分は用いられない。このため、検出器12は検出器の中央部の列が精密な軸ピッチを有し、外側列は粗い軸ピッチを有するように設計されても良く、かかる設計はスライス感度プロファイルにほとんど影響を及ぼさない。

【0081】なお、本発明は上述した実施形態に限定されず種々変形して実施可能である。

【0082】

【発明の効果】以上説明したように、各々が自身の逆投影範囲を有する画素を用いて逆投影が実行される。この範囲は二次元完全条件に従って決定され、すなわち再構成スライス上の各ラインはスライス平面上への焦点軌道の投影と交差しなければならない。完全条件はより高い螺旋ピッチ率を可能にする一方、再構成画像の画質を維持しながらも逆投影のデータの適正量を与える。これは被検体のスクリーニング及びCT-アンギオグラフィーなどの高速スキャンにとって効果的である。

【0083】本発明は、円錐型ビーム(コーンビーム)を用いて螺旋状(ヘリカル)スキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置に好適である。逆投影においては、螺旋スキャンにより得られた円錐型ビーム投影データはそのまま用いられるか、又はコーン角を維持したままの横断面内のバラレルビームに変換される。かかる変

換によれば、螺旋ピッチ率を増加させることができ、スキャン速度を向上でき、これによりスキャン時間を短縮できる。また、本発明の逆投影は、全投影データセットを用いるもの、又は完全条件に基づいて決定された最小データセットを用いるものという二つの類型を有する。

【0084】したがって、本発明によれば以下のX線コンピュータ断層撮影装置を提供できる。

【0085】(1)診断画像の画質を維持しつつもスキャン時間を短縮できるX線コンピュータ断層撮影装置。

【0086】(2)二次元の完全条件を満足するようにヘリカルスキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置。

【0087】(3)オブジェクトの各々の画素が画像再構成のための最小データ範囲を有するように、当該オブジェクトをヘリカルスキャンするX線コンピュータ断層撮影装置。

【0088】(4)各々の画素に逆投影範囲を与えて画像再構成を行うX線コンピュータ断層撮影装置。

【図面の簡単な説明】

【図1】X線コンピュータ断層撮影装置により螺旋(ヘリカル)スキャンを行う様子を示す図

【図2】本発明の実施形態に係るX線コンピュータ断層撮影装置のシステム構成を示すブロック図

【図3】再構成回路の概略構成を示すブロック図

【図4】円錐形ビーム・ジオメトリの横断面を示す図

【図5】検出器アレイの所定列を通るレイ集合の軌跡を示すグラフ

【図6】 32×32 の再構成マトリックスをベースにした再構成スライスのマップを示す図

【図7】 32×32 の再構成マトリックスをベースにした再構成スライスのマップに基づくグラフを示す図

【図8】コーンビームによりヘリカルスキャンを行うX線コンピュータ断層撮影装置の従来例に係る完全再構成アルゴリズム(コーンビーム-バラレルビーム変換は行わない)によって得られた再構成スライスのマップを示す図

【図9】上端エントリである $\beta 1'(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2'(x, y)$ の値のマップの半分を示す図

【図10】上端エントリである $\beta 1'(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2'(x, y)$ の値のマップの残り半分を示す図

【図11】上端エントリである $\beta 1(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2(x, y)$ の値のマップの半分を示す図

【図12】上端エントリである $\beta 1(x, y)$ の値及び下端エントリである $\beta 2(x, y)$ の値のマップの残り半分を示す図

【図13】 θ の関数であって選択された画素について検出器アレイの所定列を通るレイ集合の軌跡を示すグラフ

23

【図14】再構成スライスの $\theta 2'$ (x, y) - $\theta 1'$ (x, y) の値のマップの半分を示す図

【図15】再構成スライスの $\theta 2'$ (x, y) - $\theta 1'$ (x, y) の値のマップの残り半分を示す図

【図16】上端エントリである $\theta 1'$ (x, y) の値及び下端エントリである $\theta 2'$ (x, y) の値のマップの半分を示す図

【図17】上端エントリである $\theta 1'$ (x, y) の値及び下端エントリである $\theta 2'$ (x, y) の値のマップの残りを示す図

【図18】上端エントリである $\theta 1$ (x, y) の値及び下端エントリである $\theta 2$ (x, y) の値のマップの半分を示す図

【図19】上端エントリである $\theta 1$ (x, y) の値及び下端エントリである $\theta 2$ (x, y) の値のマップの残り半分を示す図

【図20】変換なしの場合の結果を示す図

10

* 【図21】横断面のパラレルビームを変換した場合の結果を示す図

【図22】幾つかのヘリカルピッチ率に対する、検出器の相対列上のレイ集合のヒストグラム分布(変換なし)を示すグラフ

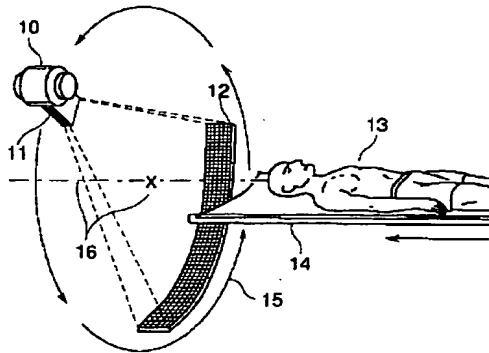
【図23】幾つかのヘリカルピッチ率に対する、検出器の相対列上のレイ集合のヒストグラム分布(変換あり)を示すグラフ

【符号の説明】

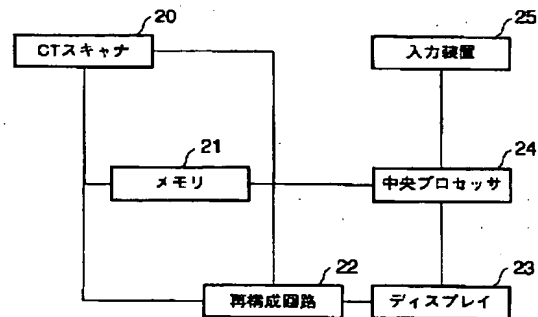
- 10...X線管
- 11...コリメータ
- 12...検出器
- 13...患者(被写体)
- 14...寝台天板
- 15...軌道
- 16...回転中心

*

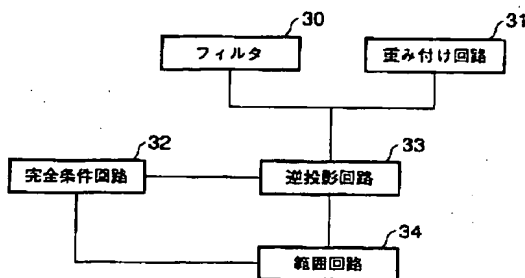
【図1】



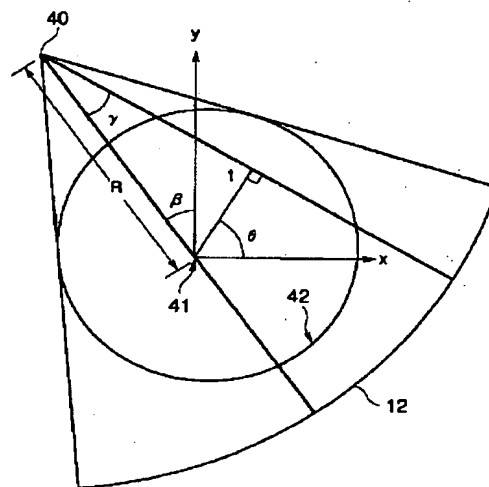
【図2】



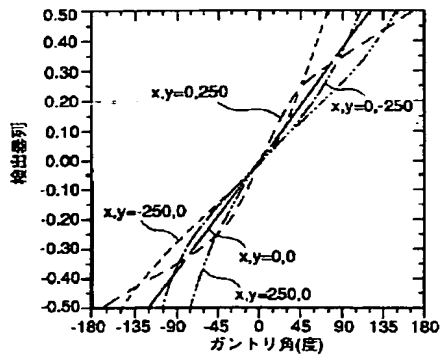
【図3】



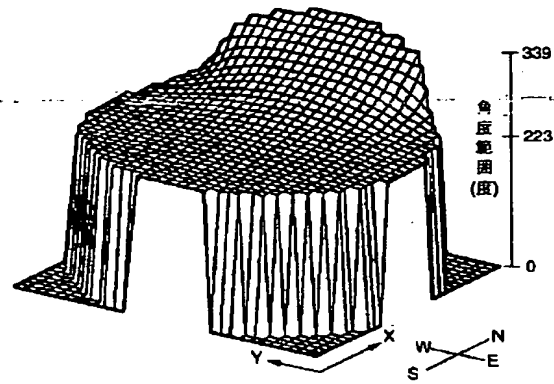
【図4】



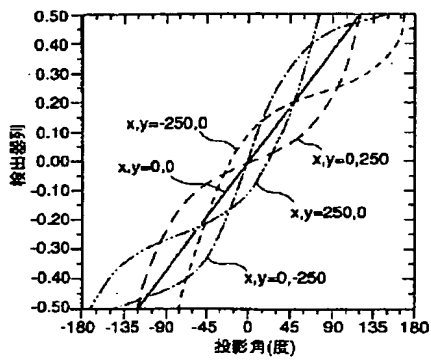
【図5】



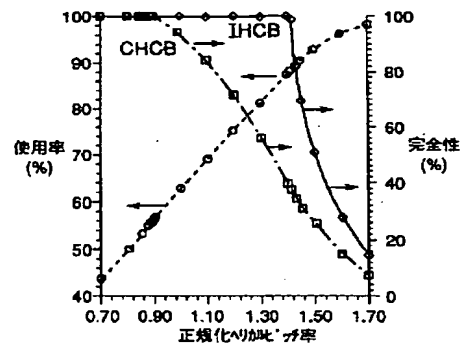
【図7】



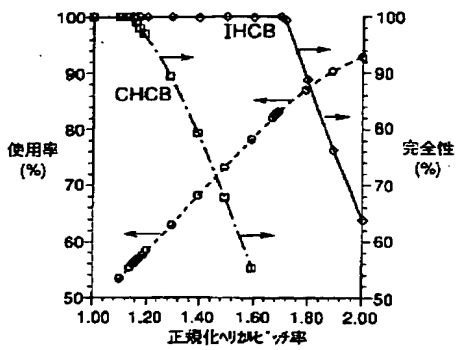
【図13】



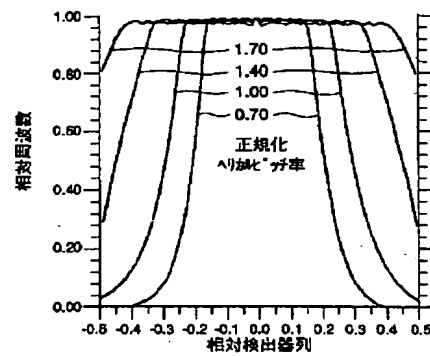
【図20】



【図21】



【図22】



[illegible]

【圖 8】

[illegible]

【圖9】

[illegible]

【 10 】

-150	-148	-147	-146	-145	-144	-143	-142	-140	-138	-136	-134	-132	-130	-128	-126	-125	-123	-120	-117	-114	-111	-108	-105	-102	-99	-95	-92	-89	-86	-81	-80	-78	-76	-73				
73	76	78	79	80	83	86	89	92	95	99	102	105	108	111	114	117	120	123	125	128	130	132	134	136	138	140	142	143	145	147	148	150						
-148	-147	-146	-145	-144	-142	-140	-138	-137	-136	-133	-131	-128	-126	-124	-121	-119	-118	-113	-110	-107	-104	-101	-98	-95	-92	-89	-86	-84	-81	-79	-77	-75						
75	77	79	81	84	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	121	124	126	128	131	133	135	137	139	140	142	144	145	147	149							
-147	-146	-144	-142	-141	-139	-137	-135	-133	-131	-129	-127	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-112	-109	-106	-104	-101	-98	-95	-92	-89	-87	-84	-82	-80	-77	-76						
76	77	80	82	84	87	89	92	95	98	101	104	106	108	110	112	115	117	120	122	125	127	129	131	133	135	137	139	141	142	144	146	147						
-146	-144	-143	-141	-139	-136	-134	-132	-130	-128	-126	-124	-121	-119	-116	-114	-111	-108	-106	-103	-100	-98	-95	-92	-90	-87	-85	-82	-80	-78	-77	-74							
77	78	80	82	85	87	90	92	95	98	100	103	106	108	111	114	116	119	121	124	126	128	130	132	134	136	138	139	141	143	144	146	148						
0	-143	-142	-140	-138	-135	-133	-131	-129	-127	-125	-122	-120	-118	-115	-113	-110	-108	-105	-103	-100	-97	-95	-92	-90	-87	-85	-83	-81	-79	0								
0	79	81	83	86	89	92	95	97	100	103	105	108	110	113	115	118	120	122	125	127	129	131	133	135	136	138	140	142	143	0								
0	-142	-140	-139	-137	-135	-134	-132	-130	-128	-126	-124	-121	-119	-117	-115	-112	-110	-107	-105	-102	-100	-97	-95	-93	-90	-88	-86	-84	-82	-80	0							
0	80	82	84	86	88	90	93	95	97	100	102	105	107	110	112	115	117	119	121	124	126	128	130	132	134	135	137	139	140	142	0							
0	-141	-139	-138	-136	-134	-133	-131	-129	-127	-125	-123	-121	-118	-116	-114	-112	-109	-107	-105	-102	-100	-97	-95	-93	-91	-89	-87	-85	-83	-81	0							
0	81	83	85	87	89	91	93	95	97	100	102	105	107	109	111	113	116	118	121	123	125	127	129	131	133	134	136	138	140	141	0							
0	0	-139	-137	-135	-133	-131	-129	-126	-124	-122	-120	-118	-116	-113	-111	-109	-107	-104	-102	-100	-98	-95	-93	-91	-89	-87	-85	-84	0									
0	0	84	85	87	89	91	93	95	98	100	102	104	107	109	111	113	116	120	122	124	126	128	130	132	133	135	137	138	140	141	0							
0	0	-138	-136	-134	-133	-131	-129	-127	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-94	-92	-90	-88	-86	-84	0								
0	0	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	134	136	138	140	141	0						
0	0	-135	-134	-132	-130	-128	-127	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-94	-92	-90	-89	87	0	0	0	0	0	0					
0	0	87	89	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	113	115	117	119	121	123	125	127	129	130	132	134	135	0	0	0	0	0	0					
0	0	0	-133	-131	-128	-126	-124	-122	-120	-119	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-95	-93	-91	-89	0	0	0	0	0	0	0	0					
0	0	0	89	91	93	95	98	99	102	104	106	108	110	112	114	116	119	122	124	126	128	129	131	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	-131	-129	-127	-125	-124	-122	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-104	-102	-101	-98	-97	-95	-93	-92	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	82	83	85	87	89	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	125	127	129	131	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	-128	-127	-125	-123	-121	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-105	-103	-101	-99	-97	-96	94	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	-126	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-107	-105	-103	-101	-99	-97	-96	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-107	-105	-103	-101	-99	-98	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-124	-122	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-107	-105	-103	-101	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-122	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-107	-105	-103	-101	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-117	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	94	92	90	88	87	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	94	92	90	88	87	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-110	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-96	94	92	90	88	87	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-110	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-97	-95	94	92	90	88	87	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-97	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-104	-102	-100	-98	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-102	-100	-98	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-100	-98	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-98	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-96	-95	93	91	89	0	0	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-94	-92	90	88	86	84	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-92	-90	88	86	84	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-90	-88	86	84	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-88	-86	84	0	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-86	-84	82	80	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-84	-82	80	78	0	0			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-82	-80	78	76	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-80	-78	76	74	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-78	-76	74	72	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											

【圖 11】

[illegible]

【圖 12】

-150	-148	-147	-145	-143	-142	-140	-138	-135	-131	-128	-125	-122	-119	-116	-115	-114	-111	-108	-105	-102	-99	-95	-92	-89	-86	-83	-80	-78	-75	-73										
73	76	78	80	83	86	89	92	95	99	102	105	108	111	114	115	115	119	122	125	128	131	135	138	140	142	143	145	147	148	150										
-148	-147	-145	-144	-142	-140	-138	-137	-135	-132	-128	-125	-123	-120	-117	-115	-113	-110	-107	-104	-101	-98	-95	-92	-89	-86	-84	-81	-79	-77	-75										
75	77	79	81	84	86	89	92	95	99	101	104	107	110	113	115	117	120	123	126	129	132	135	137	139	140	142	144	145	147	148										
-147	-146	-144	-142	-141	-138	-137	-135	-133	-131	-129	-126	-124	-121	-118	-115	-112	-109	-106	-104	-101	-98	-95	-92	-89	-87	-84	-82	-80	-77	-76										
76	77	80	82	84	87	89	92	95	99	101	104	106	109	112	115	118	121	124	126	129	131	133	135	137	139	141	142	144	145	147										
-145	-144	-141	-139	-138	-136	-134	-132	-130	-128	-126	-124	-121	-119	-116	-114	-111	-108	-106	-103	-100	-98	-95	-92	-89	-87	-85	-82	-80	-78	-77										
77	78	80	82	85	87	90	92	95	98	100	103	106	108	111	114	116	119	121	124	126	128	130	132	134	136	139	141	143	144	146										
0	-143	-142	-140	-138	-135	-133	-131	-129	-127	-125	-122	-120	-118	-115	-113	-110	-108	-105	-103	-100	-97	-95	-92	-90	-88	-85	-83	-81	-79	0										
0	79	81	83	85	88	90	92	95	97	100	103	106	108	110	113	115	118	122	125	127	130	133	135	138	139	140	142	143	0	0										
0	-142	-140	-139	-137	-135	-134	-132	-130	-128	-126	-124	-121	-119	-117	-115	-112	-110	-107	-105	-102	-100	-97	-95	-93	-90	-88	-84	-82	-80	0										
0	80	82	84	86	88	90	93	95	97	100	102	105	107	110	112	115	117	119	121	124	126	128	130	132	134	135	137	139	140	142	0									
0	-141	-139	-138	-136	-134	-133	-131	-129	-127	-125	-123	-121	-118	-116	-114	-112	-109	-107	-105	-102	-100	-97	-94	-93	-91	-89	-87	-85	-83	-81	0									
0	81	83	85	87	89	91	93	95	97	100	102	105	107	109	112	114	116	118	121	123	125	127	129	131	133	134	136	138	139	141	0									
0	0	-139	-137	-135	-133	-132	-130	-128	-126	-124	-122	-120	-118	-116	-113	-111	-108	-107	-104	-102	-100	-98	-94	-93	-91	-88	-87	-85	-84	0	0									
0	0	84	85	87	89	91	93	95	98	100	102	104	106	108	110	113	116	118	120	122	124	126	128	130	132	135	137	139	140	0	0									
0	0	-138	-136	-134	-133	-131	-129	-127	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-94	-92	-90	-88	-84	-84	0	0									
0	0	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	134	136	138	0	0									
0	0	0	-134	-132	-130	-128	-127	-125	-123	-121	-119	-117	-115	-113	-111	-109	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-94	-92	-90	-89	-87	0	0	0	0									
0	0	0	87	89	90	92	94	96	98	100	102	104	106	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	128	130	132	134	135	0	0	0									
0	0	0	0	-133	-131	-129	-128	-126	-124	-122	-120	-119	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-96	-94	-91	-89	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	89	91	93	95	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	119	122	124	126	128	130	132	135	137	139	140	0	0									
0	0	0	0	0	0	-128	-127	-125	-124	-122	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-104	-102	-100	-98	-97	-95	-93	-92	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	92	93	95	97	99	101	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	125	127	129	131	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	-128	-127	-125	-123	-121	-120	-118	-116	-114	-112	-110	-108	-106	-105	-103	-101	-99	-97	-96	-94	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	94	96	97	99	101	103	105	108	110	112	114	116	118	120	121	123	125	127	128	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	-128	-125	-123	-121	-119	-117	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	-96	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	96	98	99	101	103	105	107	109	110	112	114	116	117	119	121	123	125	126	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123	-121	-119	-117	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	-96	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123	-121	-119	-117	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	-96	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123	-121	-119	-117	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	-96	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123	-121	-119	-117	-116	-114	-112	-110	-108	-107	-105	-103	-101	-99	-98	-96	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-117	-115	-114	-112	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-115	-114	-112	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-111	-110	-109	-107	-105	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					

【圖 14】

[illegible]

[illegible]

[illegible]

【図 17】

-74	-76	-78	-82	-83	-86	-88	-91	-94	-97	-100	-104	-107	-111	-114	-118	-121	-125	-129	-132	-135	-140	-143	-146	-150	-153	-156	-159	-162	-165	-168	-170		
170	163	155	162	159	156	153	150	146	143	140	136	132	129	125	121	118	114	111	107	104	100	97	94	91	88	86	83	81	78	76	74		
-73	-75	-77	-80	-82	-85	-87	-90	-93	-97	-100	-103	-107	-111	-114	-118	-122	-126	-130	-133	-137	-141	-144	-148	-151	-155	-158	-161	-164	-167	-169	-172		
172	169	167	164	161	158	155	151	148	144	141	137	133	129	126	122	118	114	111	107	103	100	97	93	90	87	85	82	80	77	75	73		
-72	-74	-76	-78	-81	-84	-86	-89	-92	-95	-99	-103	-107	-110	-114	-118	-122	-126	-130	-134	-138	-142	-146	-149	-153	-156	-160	-163	-166	-169	-171	-174		
174	171	169	166	163	160	156	153	149	146	142	138	134	130	126	122	118	114	110	107	103	99	96	92	89	86	84	81	78	76	74	72		
-70	-72	-75	-77	-80	-82	-85	-88	-92	-95	-99	-102	-106	-110	-115	-119	-123	-127	-131	-135	-140	-144	-148	-151	-155	-158	-162	-165	-168	-171	-174	-176		
176	174	171	169	166	162	158	155	151	148	144	140	136	131	127	123	119	115	110	106	102	99	95	92	89	85	82	80	77	75	72	70		
0	-71	-73	-76	-78	-81	-84	-87	-91	-94	-98	-102	-106	-110	-115	-119	-124	-128	-133	-137	-141	-145	-149	-153	-157	-161	-164	-167	-170	-173	-176	0		
0	175	173	170	167	164	160	157	153	149	145	141	137	133	128	124	119	115	110	106	102	98	94	91	87	84	81	78	76	73	71	0		
0	-68	-70	-73	-76	-79	-82	-85	-89	-93	-97	-102	-106	-111	-115	-120	-125	-129	-134	-139	-143	-147	-151	-155	-159	-163	-166	-170	-173	-176	-178	0		
0	178	176	173	170	166	163	159	155	151	147	143	139	134	129	125	120	115	111	106	102	97	93	90	86	83	80	77	74	72	69	0		
0	-68	-70	-73	-76	-79	-82	-85	-89	-93	-97	-102	-106	-111	-115	-120	-125	-130	-135	-140	-145	-150	-154	-158	-162	-165	-169	-172	-175	-178	-181	0		
0	181	178	175	172	169	165	162	158	154	150	145	140	136	131	126	121	116	111	106	101	97	92	88	85	81	78	75	73	70	68	0		
0	0	-68	-71	-74	-77	-80	-83	-87	-91	-95	-101	-106	-111	-116	-122	-127	-132	-138	-143	-147	-152	-156	-161	-164	-168	-172	-175	-178	-181	0	0		
0	0	161	178	175	172	169	164	161	156	152	147	143	138	132	127	122	116	111	105	101	96	91	87	83	79	74	71	68	0	0	0		
0	0	-67	-69	-72	-75	-78	-82	-86	-90	-95	-100	-105	-111	-117	-123	-129	-134	-140	-145	-150	-155	-159	-164	-168	-171	-175	-178	-181	-184	0	0		
0	0	184	181	178	175	171	168	164	159	155	150	145	140	134	128	123	117	111	106	100	95	90	86	82	78	75	72	69	67	0	0		
0	0	0	-67	-70	-73	-77	-80	-85	-89	-94	-100	-106	-112	-118	-125	-131	-137	-142	-148	-153	-158	-163	-167	-171	-175	-178	-181	-184	0	0	0		
0	0	0	184	181	178	175	171	167	163	156	153	148	142	137	131	125	118	112	106	100	94	88	85	80	77	73	70	67	0	0	0		
0	0	0	0	-68	-71	-75	-79	-83	-88	-93	-99	-106	-113	-120	-126	-133	-139	-145	-151	-156	-161	-166	-170	-175	-178	-182	-185	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	185	182	178	175	170	166	161	156	151	145	139	133	126	120	113	106	99	93	86	83	79	75	71	68	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	-69	-73	-77	-81	-87	-92	-99	-106	-114	-121	-129	-136	-142	-149	-155	-160	-165	-170	-175	-179	-182	-186	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	186	182	179	175	170	165	160	155	149	142	136	129	121	114	106	99	92	87	81	77	73	69	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	-71	-75	-79	-85	-91	-99	-107	-115	-124	-132	-140	-148	-153	-159	-165	-170	-175	-179	-183	-186	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	186	183	179	175	170	165	159	153	146	139	132	124	115	107	99	91	83	75	71	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	-77	-81	-86	-92	-99	-106	-117	-127	-135	-143	-151	-159	-164	-170	-175	-180	-184	-187	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	187	184	180	175	170	164	158	151	143	136	127	117	108	99	90	83	77	72	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-81	-86	-92	-99	-109	-120	-131	-140	-148	-156	-163	-170	-175	-180	-185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	180	175	170	163	156	148	140	131	120	109	98	89	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-112	-125	-136	-146	-155	-163	-170	-176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	170	163	155	146	136	125	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

【圖 18】

[illegible]

[illegible]

【図23】

